

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-346492

(43) 公開日 平成11年(1999)12月14日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> 識別記号

H 0 2 P 5/00

G 0 5 B 13/02  
13/04

F I

H 0 2 P 5/00

G 0 5 B 13/02  
13/04

F

X

E

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平10-151068

(22) 出願日 平成10年(1998)6月1日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 吉田 雅彦

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72) 発明者 井川 康

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

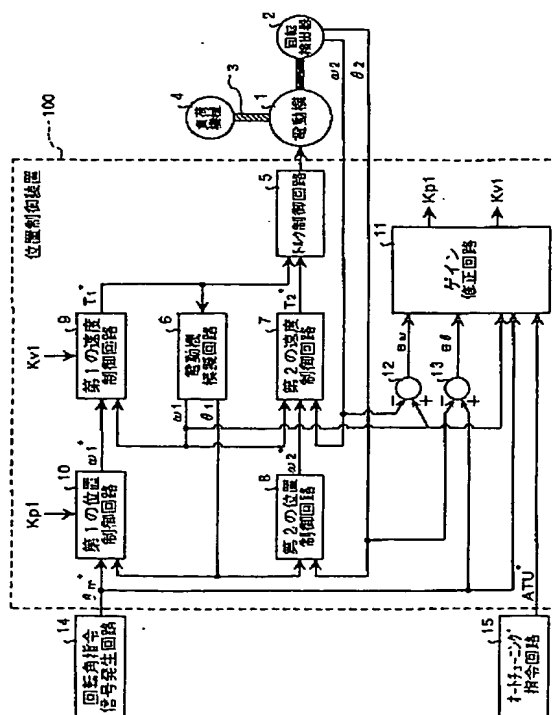
(74) 代理人 弁理士 酒井 宏明 (外1名)

(54) 【発明の名称】 電動機の位置制御装置

(57) 【要約】

【課題】 同仕様の負荷機械群の機械特性にばらつき、かつ、変化がある場合でも、位置制御装置の位置偏差と速度偏差を使用し、最適ゲイン構成を自動的に再決定し、所望の応答を達成、かつ、維持できること。

【解決手段】 位置制御装置100は、回転角指令信号 $\theta_m^*$ と実位置信号 $\theta_2$ とを減算( $\theta_m^* - \theta_2$ )して位置偏差信号 $e_\theta$ を出力する減算器13と、模擬速度信号 $\omega_1$ と実速度信号 $\omega_2$ とを減算( $\omega_1 - \omega_2$ )して速度偏差信号 $e_\omega$ を出力する減算器12と、位置偏差信号 $e_\theta$ と速度偏差信号 $e_\omega$ と回転角指令信号発生回路14の出力する回転角指令信号 $\theta_m^*$ とオートチューニング指令回路15の出力するオートチューニング指令信号 $A T U^*$ とに基づいて第1の位置制御回路10のゲイン $K p 1$ と第1の速度制御回路9のゲイン $K v 1$ とを切り換えるゲイン修正回路11とを有している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 外部から与えられる位置指令信号と電動機模擬回路の出力する第 1 の位置信号を入力して第 1 の速度指令信号を出力する第 1 の位置制御手段と、

前記第 1 の位置制御手段の出力する第 1 の速度指令信号と前記電動機模擬回路の出力する第 1 の速度信号を入力して第 1 のトルク指令信号を出力する第 1 の速度制御手段と、

前記第 1 の速度制御手段の出力する第 1 のトルク指令信号を入力して第 1 の位置信号と第 1 の速度信号を出力する電動機模擬回路と、

前記電動機模擬回路の出力する第 1 の位置信号と電動機の回転検出器の出力する第 2 の位置信号を入力して第 2 の速度指令信号を出力する第 2 の位置制御手段と、

前記電動機模擬回路の出力する第 1 の速度信号と前記電動機の回転検出器の出力する第 2 の速度信号と前記第 2 の位置制御手段が出力する第 2 の速度指令信号を入力して第 2 のトルク指令信号を出力する第 2 の速度制御手段と、

第 1 のトルク指令信号と第 2 のトルク指令信号に基づいて前記電動機のトルクを制御するトルク制御手段と、外部から与えられる自動調整指令と自動調整指令入力後から一定の時間内における前記位置指令信号と前記第 2 の位置信号の偏差信号と前記第 1 の速度信号と前記第 2 の速度信号の偏差信号に基づいて第 1 の位置制御手段のゲインと第 1 の速度制御手段のゲインを切り換えるゲイン修正手段と、

を備えたことを特徴とする電動機の位置制御装置。

【請求項 2】 前記ゲイン修正手段は、外部から与えられる位置指令信号と第 2 の位置信号の偏差が、位置指令信号が終了してからの前記位置指令信号と前記第 2 の位置信号の偏差信号と、第 1 の速度信号と第 2 の速度信号の偏差信号とに基づいて第 1 の位置制御手段のゲインと第 1 の速度制御手段のゲインを切り換えることを特徴とする請求項 1 に記載の電動機の位置制御装置。

【請求項 3】 前記ゲイン修正手段は、外部から与えられる位置指令信号と第 2 の位置信号の偏差が、ゲイン修正手段の第 1 の計算開始設定値以下に達してからの前記位置指令信号と前記第 2 の位置信号の偏差信号と第 1 の速度信号と前記第 2 の速度信号の偏差信号とに基づいて第 1 の位置制御手段のゲインと第 1 の速度制御手段のゲインを切り換えることを特徴とする請求項 1 に記載の電動機の位置制御装置。

【請求項 4】 前記ゲイン修正手段は、外部から与えられる位置指令信号と第 2 の位置信号の偏差が、ゲイン修正手段の第 1 の計算開始設定値以下に達してからの前記位置指令信号と前記第 2 の位置信号の偏差信号と、前記位置指令信号が終了してからの前記第 1 の速度信号と前記第 2 の速度信号の偏差信号とに基づいて第 1 の位置制御手段のゲインと第 1 の速度制御手段のゲインを切り換

えることを特徴とする請求項 1 に記載の電動機の位置制御装置。

【請求項 5】 前記ゲイン修正手段は、外部から与えられる位置指令信号と第 2 の位置信号の偏差が、ゲイン修正手段の第 1 の計算開始設定値以下に達してからの前記位置指令信号と前記第 2 の位置信号の偏差信号と、第 1 の速度信号がゲイン修正手段の第 2 の計算開始設定値以下に達してからの前記第 1 の速度信号と前記第 2 の速度信号の偏差信号とに基づいて第 1 の位置制御手段のゲインと第 1 の速度制御手段のゲインを切り換えることを特徴とする請求項 1 に記載の電動機の位置制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、パルスエンコーダなどの位置検出器を用いて電動機の手速度および位置の制御を行うサーボシステムにおいて、特に制御ゲインの微調整を要する分野に使用される電動機の位置制御装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】サーボシステムにおける電動機の位置制御は、一般に、位置制御をメインループとし、速度制御ループをマイナーループとした図 16 に示すようなカスケード構成の制御系により実行される。図 16 において、1 は電動機、2 は電動機 1 に接続された回転検出器、3 は電動機 1 のトルクを伝達するトルク伝達機構、4 は電動機 1 にトルク伝達機構 3 を介して接続された負荷機械、14 は回転角指令信号発生回路、150 はトルク制御回路、151 は速度制御回路、152 は位置制御回路である。このような位置制御装置にあっては電動機 1 に負荷をつけたときに、負荷機械 4 を所望の応答にするためには位置制御回路 152 内のゲインおよび速度制御回路 151 内のゲインをそれぞれ手動および自動にて調整する必要がある。

【0003】例えば、要求仕様が高速・高精度応答である故に位置制御装置のゲイン自動調整、すなわちオートチューニング機能では負荷機械 4 を所望の応答に調整できなかった。しかしこの場合でも手動調整、すなわちマニュアルチューニングでは所望の応答に調整できたと仮定すると、このような場合にあっては、現状では同仕様の負荷機械が複数ある場合に対しても一台一台マニュアルチューニングしなくてはならなかった。

【0004】もし同仕様の複数の負荷機械に対して、任意の一台のみをマニュアルチューニングし、その制御ゲインを他の負荷機械に取り付けた位置制御装置に入力したと仮定する。しかし、同仕様の機械であっても一台一台の微妙な機械特性のばらつきが必ず存在すること、かつ、所望の応答が高速・高精度である故に機械特性のばらつきに起因する位置応答のばらつきが許容できない場合には、同一ゲインを他の同仕様の負荷機械の調整に適用することができない。このときには一台一台の負荷機

械に対し機械特性のばらつきを、それぞれマニュアルによるゲイン微調整にて合わせ込むことが必要となる。また、マニュアルチューニングで各負荷機械に対し微調整を施す場合であっても、位置制御装置の調整者が複数になる場合や調整者のスキルに差がある場合には調整ゲイン値が一様な手順にて行われないので品質的な問題も出てくる。

【0005】図17は、特開平8-168280号公報に開示された電動機の位置制御装置の概略構成を示している。この位置制御装置は、第1の位置制御回路206と第1の速度制御回路205と、第2の位置制御回路204と第2の速度制御回路203と、トルク制御回路201と、電動機模擬回路202と、イナーシャ同定回路207と、ゲイン修正回路208とを有している。なお、電動機1には回転検出器2が接続されており、負荷機械4とはトルク伝達機構3にて接続されている。

【0006】イナーシャ同定回路207は、電動機模擬回路202が出力する第1の速度信号 $\omega_1$ と回転検出器2が出力する第2の速度信号 $\omega_2$ の偏差信号が減少するように推定イナーシャJLを出力する。電動機模擬回路202の出力する第1の速度信号 $\omega_1$ と電動機1の第2の速度信号 $\omega_2$ との偏差が零になったとき、電動機模擬回路202の推定イナーシャJLは電動機1とトルク伝達機構3と負荷機械4を含めた実機械の負荷イナーシャと等しくなる。ゲイン修正回路208は推定イナーシャJLを基準にして第1の位置制御回路206のゲインKp1、第1の速度制御回路205のゲインKv1、第2の位置制御回路204のゲインKp2、第2の速度制御回路203のゲインKv2を修正する。

【0007】このように、従来における位置制御装置のオートチューニング、すなわちイナーシャ推定によるオートチューニングは、未知なる負荷機械に対して負荷機械のイナーシャを推定し、そのイナーシャ値を基準にして適切なゲイン値を自動的に得る構成を採用している。すなわち、従来におけるオートチューニングは未知なるイナーシャの負荷機械や負荷機械のイナーシャが時間変動するような機械に対しては非常に有効なものとなる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、位置制御回路のそれぞれのゲイン値は、ゲイン修正回路208より推定イナーシャJLのみから全て求められるために、負荷機械4にイナーシャ以外の振動要因がある場合でも各ゲインは変更されない。故に振動しやすい負荷機械や、要求される整定仕様が厳しい場合はゲイン修正回路208が出力するゲイン構成では所望の応答が得られない場合がある。これは上記従来例にあつては、イナーシャ推定タイプのオートチューニングに、要求仕様に基づいてゲインを変更する手段がないことに起因している。よってイナーシャ推定が正しく推定されていたとしても要求仕様を満たしている保証は無く、その場合には

マニュアルチューニングにて最適ゲイン構成を探らなくてはならない、という不具合がある。

【0009】また、上記従来例でイナーシャ推定が正しく行われない場合もある。例えば、ある装置が他の同仕様の装置と比べて摩擦が定格トルクの5%大きければ上記従来例では摩擦トルク5%をイナーシャの増加と認識し、イナーシャを5%大きく推定する。よってゲイン構成も誤ったイナーシャに基づいて設定されるので、この場合の応答は他の装置と大きく異なってくる。同等の応答にするためには摩擦を推定、補償する回路を追加するかマニュアルチューニングにて摩擦を補償できるゲイン構成に各ゲインを再調整するしかない、という不具合がある。

【0010】以上のように推定イナーシャ方式によるオートチューニングにあつては、推定イナーシャ値に基づいて位置制御装置のゲイン群を決定する。故に負荷機械の、イナーシャ以外の要因でチューニングが要求仕様を満足しない場合には最適ゲイン構成を適宜変更する手段が無く、電動機模擬回路202を実際の負荷機械の挙動により近づける方法、若しくはマニュアルチューニングで最適なゲイン構成を模索する方法で対応するしかなかった。

【0011】この発明は、上記の課題を解決するためになされたものであり、同仕様の負荷機械群の機械特性にばらつき、かつ、変化がある場合でも、位置制御装置の位置偏差と速度偏差を使用し、最適ゲイン構成を自動的に再決定し、所望の応答を達成、かつ、維持できる電動機の位置制御装置を得ることを目的としている。

【0012】

【課題を解決しようとする手段】上述の目的を達成するために、この発明による電動機の位置制御装置は、外部から与えられる位置指令信号と電動機模擬回路の出力する第1の位置信号を入力して第1の速度指令信号を出力する第1の位置制御手段と、前記第1の位置制御手段の出力する第1の速度信号と電動機の模擬回路の出力する第1の速度信号を入力して第1のトルク指令信号を出力する第1の速度制御手段と、前記第1の速度制御手段の出力する第1のトルク指令信号を入力して第1の模擬位置信号と第1の模擬速度信号を出力する電動機模擬回路と、前記電動機模擬回路の出力する第1の位置信号と電動機の回転検出器の出力する第2の位置信号を入力して第2の速度指令信号を出力する第2の位置制御手段と、前記電動機模擬回路の出力する第1の速度信号と前記電動機の回転検出器の出力する第2の速度信号と第2の位置制御手段が出力する第2の速度指令信号を入力して第2のトルク指令信号を出力する第2の速度制御手段と、第1の模擬トルク指令と第2のトルク指令を加算した信号に基づいて前記電動機のトルクを制御するトルク制御手段と、外部から与えられる自動調整指令と前記自動調整指令入力後から一定の時間内における前記位置指令信

号と前記第2の位置信号の偏差信号と前記第1の速度信号と前記第2の速度信号の偏差信号に基づいて第1の位置制御手段のゲインと第1の速度制御手段のゲインを切り換えるゲイン修正手段とを備えていることを特徴とする。

【0013】この発明による電動機の位置制御装置においては、ゲイン修正手段が、外部から与えられる自動調整指令を受けると自動調整指令入力後から一定の時間において予め作成してある数種類のゲインパターンに順次切り替え、位置指令信号と第2の位置信号の偏差信号と第1の速度信号と第2の速度信号の偏差信号に基づいて評価関数を計算し、自動調整指令入力後から一定の時間後に前記評価関数の値に基づいて最適なゲインパターンを選択し第1の位置制御手段のゲインと第1の速度制御手段のゲインを切り換える。但し、前記位置指令信号はPTP指令のようにポイント位置のみを指示するものではなくパルス列指令等の逐次位置指令タイプの信号を指す。

【0014】つぎの発明による電動機の位置制御装置は、ゲイン修正手段が、外部から与えられる前記位置指令信号と第2の位置信号の偏差がゲイン修正手段の第1の計算開始設定値以下に達してからの位置指令信号と前記第2の位置信号の偏差信号と第1の速度信号と第2の速度信号の偏差信号とに基づいて第1の位置制御手段のゲインと第1の速度制御手段のゲインを切り換えることを特徴とする。

【0015】つぎの発明による電動機の位置制御装置は、ゲイン修正手段が、前記位置指令信号が終了してからの位置指令信号と前記第2の位置信号の偏差信号と第1の速度信号と第2の速度信号の偏差信号とに基づいて第1の位置制御手段のゲインと第1の速度制御手段のゲインを切り換えることを特徴とする。

【0016】つぎの発明による電動機の位置制御装置は、ゲイン修正手段が、外部から与えられる前記位置指令信号と第2の位置信号の偏差がゲイン修正手段の第1の計算開始設定値以下に達してからの前記位置指令信号と前記第2の位置信号の偏差信号と、位置指令信号が終了してからの第1の速度信号と第2の速度信号の偏差信号とに基づいて第1の位置制御手段のゲインと第1の速度制御手段のゲインを切り換えることを特徴とする。

【0017】つぎの発明による電動機の位置制御装置は、ゲイン修正手段が、外部から与えられる前記位置指令信号と第2の位置信号の偏差がゲイン修正手段の第1の計算開始設定値以下に達してからの位置指令信号と第2の位置信号の偏差信号と、第1の速度信号がゲイン修正手段の第2の計算開始設定値以下に達してからの第1の速度信号と第2の速度信号の偏差信号とに基づいて第1の位置制御手段のゲインと第1の速度制御手段のゲインを切り換えることを特徴とする。

【0018】

【発明の実施の形態】以下に、この発明に係る電動機の位置制御装置の実施の形態を、添付図面を参照して詳細に説明する。

【0019】実施の形態1. この発明による電動機の位置制御装置の実施の形態1を図1～図10を参照して説明する。図1は、実施の形態1における電動機の位置制御装置の概略構成を示している。電動機1はSMサーボモータであり、位置制御装置100は、回転角指令信号発生回路14が出力する回転角指令信号 $\theta_m^*$ と電動機模擬回路6より与えられる模擬位置信号 $\theta_1$ とに基づいて模擬速度指令信号 $\omega_1^*$ を出力する第1の位置制御回路10と、模擬速度指令信号 $\omega_1^*$ と電動機模擬回路6より与えられる模擬速度信号 $\omega_1$ とに基づいて模擬トルク指令信号 $T_1^*$ を出力する第1の速度制御回路9と、模擬位置信号 $\theta_1$ と回転検出器2より与えられる実位置信号 $\theta_2$ に基づいて実速度指令信号 $\omega_2^*$ を出力する第2の位置制御回路8と、実速度指令信号 $\omega_2^*$ と回転検出器2より与えられる実速度信号 $\omega_2$ と模擬速度信号 $\omega_1$ に基づいて実トルク指令信号 $T_2^*$ を出力する第2の速度制御回路7と、模擬トルク指令信号 $T_1^*$ と実トルク指令信号 $T_2^*$ を加算した信号に基づいて電動機1のトルクを制御するトルク制御回路5と、模擬トルク指令信号 $T_1^*$ に基づいて模擬速度信号 $\omega_1$ と模擬位置信号 $\theta_1$ を出力する電動機模擬回路6とを有している。

【0020】さらに、位置制御装置100は、回転角指令信号 $\theta_m^*$ と実位置信号 $\theta_2$ とを減算( $\theta_m^* - \theta_2$ )して位置偏差信号 $e_\theta$ を出力する減算器13と、模擬速度信号 $\omega_1$ と実速度信号 $\omega_2$ とを減算( $\omega_1 - \omega_2$ )して速度偏差信号 $e_\omega$ を出力する減算器12と、位置偏差信号 $e_\theta$ と速度偏差信号 $e_\omega$ と回転角指令信号発生回路14の出力する回転角指令信号 $\theta_m^*$ とオートチューニング指令回路15の出力するオートチューニング指令信号 $A T U^*$ とに基づいて第1の位置制御回路10のゲイン $K_p 1$ と第1の速度制御回路9のゲイン $K_v 1$ を切り換えるゲイン修正回路11とを有している。

【0021】第1の位置制御回路10は、図2に示されているように、回転角指令信号発生回路14が出力する回転角指令信号 $\theta_m^*$ と電動機模擬回路6からの模擬位置信号 $\theta_1$ との偏差( $\theta_m^* - \theta_1$ )を出力する減算器22と、偏差( $\theta_m^* - \theta_1$ )を比例増幅して模擬速度指令信号 $\omega_1^*$ を出力するゲイン $K_p 1$ の係数器21とにより構成されている。前記係数器21はゲイン修正回路11から出力される $K_p 1$ によってゲインを切り換えられる。この構成により第1の位置制御回路10は模擬位置信号 $\theta_1$ が回転角指令信号 $\theta_m^*$ に追従するように制御される。

【0022】第1の速度制御回路9は、図3に示されているように、第1の位置制御回路10が出力する模擬速度指令信号 $\omega_1^*$ と電動機模擬回路6からの模擬速度信号 $\omega_1$ との偏差( $\omega_1^* - \omega_1$ )を出力する減算器24

と、偏差 $(\omega 1^* - \omega 1)$ を比例増幅して模擬トルク指令信号 $T 1^*$ を出力するゲイン $K v 1$ の係数器23とにより構成されている。前記係数器23はゲイン修正回路11から出力される $K v 1$ によってゲインを切り換えられる。この構成により第1の速度制御回路9は模擬速度信号 $\omega 1$ が模擬速度指令信号 $\omega 1^*$ に追従するように制御される。

【0023】第2の位置制御回路8は、図4に示されているように、電動機模擬回路6が出力する模擬位置信号 $\theta 1$ と回転検出器2からの実位置信号 $\theta 2$ との偏差 $(\theta 1 - \theta 2)$ を出力する減算器26と、偏差 $(\theta 1 - \theta 2)$ を比例増幅して実速度指令信号 $\omega 2^*$ を出力するゲイン $K p 2$ の係数器25とにより構成されている。この構成により第2の位置制御回路8は実位置信号 $\theta 2$ が模擬位置信号 $\theta 1$ に追従するように制御される。

【0024】第2の速度制御回路7は、図5に示されているように、第2の位置制御回路8が出力する実速度指令信号 $\omega 2^*$ と回転検出器2からの実速度信号 $\omega 2$ との偏差 $(\omega 2^* - \omega 2)$ を出力する減算器30と、偏差 $(\omega 2^* - \omega 2)$ と電動機模擬回路6の出力する模擬速度信号 $\omega 1$ との加算 $(\omega 2^* - \omega 2 + \omega 1)$ を出力する加算器31と、加算器31からの出力 $(\omega 2^* - \omega 2 + \omega 1)$ を比例増幅するゲイン $K v 2$ の係数器29と、加算器31からの出力 $(\omega 2^* - \omega 2 + \omega 1)$ を比例増幅するゲイン $K v i$ の係数器27と、係数器27の出力を積分する積分器28と、積分器28からの出力と係数器29からの出力を加算して実トルク指令信号 $T 2^*$ を出力する加算器32とにより構成されている。この構成により第2の速度制御回路7は実速度指令信号 $\omega 2^*$ が実速度信号 $\omega 2$ に追従するように制御される。

【0025】電動機模擬回路6は、図6に示されているように、第1の速度制御回路9が出力する模擬トルク指令信号 $T 1^*$ を入力して模擬速度信号 $\omega 1$ を出力するゲイン $1/J a s$ の積分器33と、積分器33の出力を積分して模擬位置信号 $\theta 1$ を出力する積分器34とから構成されている。

【0026】トルク制御回路5は、図7に示されているように、第1の速度制御回路9の出力する模擬トルク指令信号 $T 1^*$ と第2の速度制御回路7の出力する実トルク指令信号 $T 2^*$ とを加算する加算器38と、加算器38の出力にトルク定数の逆数を乗してトルク分電流指令 $I q^*$ を出力する係数器35と、電動機1の電流 $I$ を検出する電流検出器37と、電流 $I$ から得られるトルク分電流がトルク分電流指令 $I q^*$ に追従するように電動機1に電圧 $V$ を印加する電流制御回路36とから構成されている。

【0027】ゲイン修正回路11は、図8に示されているように、評価関数演算部50と、評価関数演算部50の演算開始を判定する判定回路51と、カウンタ53と、評価関数演算部50が出力するそれぞれの評価関数

$J$ を格納する評価関数バッファ54と、第1の位置制御回路10のゲイン $K p 1$ と第1の速度制御回路9のゲイン $K v 1$ の、予め用意されている任意の値を格納しておくゲインパターンバッファ55と、ゲインパターンバッファ55のゲインパターンに第1の位置制御回路10のゲイン $K p 1$ と第1の速度制御回路9のゲイン $K v 1$ を切り換えるゲイン切換部56と、評価関数バッファ54の各評価関数値の最小値の格納アドレスを選択する最小値検出器57と、カウンタ53の出力するカウンタ値 $C$ によって評価関数値 $J$ を格納する評価関数バッファ54のバッファ位置を選択するセクタ58と、カウンタ53の出力するカウンタ値 $C$ によってゲインパターンバッファ55のバッファ位置を選択するセクタ59と、カウンタ53の出力するリミット出力 $L I M$ によって切り換えられるスイッチ60とから構成されている。

【0028】評価関数演算部50は、図9に示されているように常に零を出力する零出力器73、74と、速度偏差信号 $e \omega$ と零出力器73とを判定回路51の出力する判定値 $Z 1$ により切り換えるスイッチ76と、スイッチ76の出力する値を自乗して出力する自乗器78と、自乗器78の出力する値をゲイン $q 1$ で積分する積分器71と、位置偏差信号 $e \theta$ と零出力器74とを判定回路51の出力する判定値 $Z 2$ により切り換えるスイッチ77と、スイッチ77の出力する値を自乗して出力する自乗器79と、自乗器79の出力する値をゲイン $q 2$ で積分する積分器72と、積分器71と積分器72の出力を加算して評価関数値 $J$ を出力する加算器75とから構成されている。

【0029】ここで、スイッチ76、77は判定回路51の出力する判定信号 $Z 1$ 、 $Z 2$ が“1”のときにスイッチのA側に切り換えられ、判定信号 $Z 1$ 、 $Z 2$ が“0”のときにはスイッチのB側に切り換えられる。例えば、判定信号 $Z 1$ 、 $Z 2$ が常に“1”を出力していた場合、評価関数演算部50の出力する評価関数値 $J$ は、(1)式のように表される。(1)式において $t c$ は指令開始時間を示す。

【0030】

【数1】

$$J = \int_0^{\infty} g_1 (\omega_1 - \omega_2)^2 + g_2 (\theta_m^* - \theta_2)^2 dt \quad \dots (1)$$

【0031】一般的に最適制御問題において評価関数(1)式の $J$ 値が最小となる制御ゲイン構成は過渡応答誤差が少ないサーボ系であることが知られている。但し、一般的な位置制御装置は第1の位置制御回路10、第1の速度制御回路9、電動機模擬回路6が含まれないために、評価関数も一般的には(1)式において右辺第一項が $(\omega 1 - \omega 2)$ ではなく $(\omega 2^* - \omega 2)$ が用いられている。評価関数を $(\omega 1 - \omega 2)$ とすることでモデル速度と実速度との偏差を得ることができるために実際の挙動がどれだけ理論応答から離れているかを精密に

表現でき評価関数の精度を高めることができる。ゲイン  $q_1$ 、 $q_2$  は一般的には評価関数が最小値を得やすいような任意の値に設定する。

【0032】本発明においては  $q_1$ 、 $q_2$  は負荷機械の要求応答仕様に従って設定する。すなわち、要求仕様を評価関数に置き換えて実際の応答が要求を満たしているか否かの判定をする。評価関数(1)式においては  $0 \leq q_1 < q_2$  の関係で使用する。 $q_2$  を固定値とし、 $q_1$  は要求整定時間が短くなるにつれて大きな値を設定する。但し、 $q_1$  を大きくすることはオーバーシュート増大につながる。 $q_1$ 、 $q_2$  の値は要求仕様によりマニュアルにて変更しなくてはならないが一度設定すると要求仕様や負荷条件が大幅に変わらない限り調整する必要がないために同仕様の負荷機械に対しては一台一台設定する必要はなくなる。

【0033】判定回路51は、図10に示されているように比較回路81によって構成されている。比較回路81の判定出力Zは通常“0”を出力する。比較回路81は回転角指令信号  $\theta_m^*$  の指令開始を検出して回転角指令信号  $\theta_m^*$  が位置制御装置100に与えられたと判定すると判定信号Zを任意の一定時間  $T_{sp}$  の間“1”に出力する。判定信号Zと信号Z1、Z2は同一値を取る。このときの評価関数演算部50の計算する評価関数値Jは(2)式のように表される。各ゲインパターンによる評価関数値の判定を一定時間内に終了しなくてはならないために(2)式は(1)式と異なり、有限時間内の積分としている。

【0034】

【数2】

$$J = \int_{T_c}^{T_c + T_{sp}} q_1 (\omega_1 - \omega_2)^2 + q_2 (\theta_m^* - \theta_2)^2 dt \quad \dots (2)$$

【0035】つぎに、ゲイン修正回路11の動作について、図11のフローチャートを参照して説明する。ゲイン修正回路11は、ステップS1において、オートチューニング指令信号  $ATU^*$  入力の判定をし、入力されたと判断するまでステップS1の判断を繰り返す。オートチューニング指令信号  $ATU^*$  が入力されると、ステップS2において、ゲイン修正処理の初期化としてカウンタ53、評価関数バッファ54をそれぞれクリアにする。ステップS3において回転角指令信号  $\theta_m^*$  の入力を判定し、それが入力されるまでステップS3を繰り返し、回転角指令信号  $\theta_m^*$  が入力されてから評価関数計算を開始する。回転角指令信号  $\theta_m^*$  が入力されると、先ずステップS4においてカウンタ53をカウントアップする。つぎに、ステップS5において、カウンタ53の値に対応するゲインパターンバッファ55を選択する。ゲイン修正回路11は、あるゲインパターンで動作させた際的评价関数を計算するので、ステップS6において、ステップS5において選択されたゲイン値を各制御回路のゲインに書き込む。以上で、評価関数計算のた

めの前処理が終了する。

【0036】つぎに、ステップS7において、評価関数演算を一定時間動作させるために、判定回路51の内部タイマの動作を開始させる。判定回路51は、任意に設定可能な一定時間  $T_{sp}$  の間  $Z1=1$ 、 $Z2=1$  を出力し、ステップS8で評価関数演算部50は評価関数を演算する。その後、ステップS9において、判定回路51の内部タイマが設定した一定時間  $T_{sp}$  以内であるか否かを判定し、時間内であれば、ステップS8およびステップS9の内容の判断を繰り返す。ステップS9において、内部タイマが一定時間  $T_{sp}$  を超えると、ステップ10において、判定回路51は  $Z1=0$ 、 $Z2=0$  を出力し、この値を受けた評価関数演算部50は計算処理を終了する。

【0037】ステップS11において、評価関数演算部50で計算した評価関数Jをゲインパターンと1対1で対応する評価関数バッファ54に、すでにそこに格納されていた前回値を加算して格納する。その後、ステップS12において、カウンタ53の値が任意に設定可能な既定値以内であれば、ステップS3に戻り、上記各処理を繰り返す。反対に、既定値に達していれば、ステップS13において、評価関数バッファ54の中から最小値を検出し、ステップS14で最小値となった評価関数に対応するゲインバッファ55の値をゲイン切換部56で各制御回路のゲインに書き込み、ゲイン修正回路11の一連の動作は終了する。この一連の処理は、オートチューニング指令信号  $ATU^*$  が入力されることにより、上記ステップS1より繰り返される。

【0038】すなわち、上記一連の動作を要約すると、外部からオートチューニング指令信号  $ATU^*$  が入力されるとカウンタ53はカウンタ値を0にリセットする。またカウンタ53は回転角指令信号の指令開始を検出し、入力指令回数、すなわち位置決め回数を任意のリミット値までカウントしリミット値に達するとリミット出力LIMを“0”から“1”に出力する。セレクト58、59はカウンタ53のカウント出力値Cの値に応じて評価関数バッファ54、ゲインパターンバッファ55のアドレス位置を選択する。評価関数バッファ54、ゲインパターンバッファ55は両者同一個数でそれぞれ任意の個数を持ち、セレクト58、59の指すアドレスも連動して選択する。すなわちゲインパターンと評価関数は1対1の対応関係を示す。

【0039】このようにして位置決め動作毎にゲインパターンバッファ55の位置制御ゲイン  $K_p1$ 、速度制御ゲイン  $K_v1$  を順次切り換え、そのゲインパターンが選択されているときの位置決め応答に対応する評価関数値Jを評価関数バッファ54に格納する。カウンタ53のカウント回数が評価関数バッファ54の個数より多い場合にはセレクト58は評価関数バッファ54のアドレスを繰り返し選択し、格納される評価関数Jは加算され

る。

【0040】カウンタ53のカウンタ値が任意の設定値に達するとLIM出力値を“1”に出力し、スイッチ60はB側に切り換えられる。最小値検出器57は評価関数バッファ54の各評価関数の最小値の格納アドレスを指し示すので、このときセクタ59は評価関数が最小になったゲインパターンのアドレスを選択し、ゲイン切換部56はその位置ゲインKp1、速度ゲインKv1に最終的に書き換える。

【0041】図12に一例を示す。図12は、9通りのゲインパターンをゲインパターンバッファ55にセットし、各位置決め応答時の評価関数をプロットした図であり、この場合、最小値であるKp1=170、Kv1=1190が最終的に位置制御器のゲインとして選択される。このようにして通常のイナーシャ推定に基づく制御ゲイン決定ではなく、実際に位置決め動作した結果の評価関数に基づいて最適なゲインパターンを探索するために最終的に選ばれたゲインKp1、Kv1は予め準備されたゲインパターンの中では最適なゲイン構成であるといえる。

【0042】但し、未知なる負荷機械に最初からオートチューニング指令信号ATU\*を与えても最適なゲイン設定を得るためには無限のゲインパターンを試行しなくてはならず効果的ではない。最も効果的な使い方は未知なる負荷機械4に対してマニュアルチューニング若しくはイナーシャ推定によるオートチューニングを施した後、オートチューニング指令信号ATU\*を与える使用方法である。マニュアルチューニング若しくはイナーシャ推定によるオートチューニングにて得られたゲイン群を位置制御装置に設定すると、ゲインKp1、Kv1の値を中心、Kp1、Kv1をある傾きで変化させたゲインパターン群を自動的にゲインパターンバッファ55に設定する。その後、オートチューニング指令信号ATU\*を与え実際に最もよい応答をしたゲインKp1、Kv1に変更する微調整チューニングともいえる方法である。この方法の場合、同仕様の負荷機械が多数ある場合には一度マニュアルチューニングして最適応答のゲイン構成を得たあとはオートチューニング指令信号ATU\*による微調整のオートチューニングで全ての負荷機械の微妙な機械特性のばらつきに対応することができる。

【0043】切り換えるゲインを位置制御系のフィードフォワード補償に相当する第1の位置制御回路10のゲインKp1、第1の速度制御回路9のゲインKv1のみに限定している。一般にフィードバック補償のゲイン、図1では第2の位置制御回路8のゲインKp2、第2の速度制御回路7のゲインKv2に、図16では位置制御回路152のゲインKp、速度制御回路151のゲインKvに相当するが、これらのゲインは系の安定性に影響しており、Kp2、Kv2、若しくはKp、Kvを予め用意されたゲイン構成に切り換えていくと負荷機械4と

トルク伝達機構3の負荷条件と機械特性によっては機械系が発振する可能性がある。よって評価関数に安定性を盛り込まなくては安定したゲインパターンが得られず危険でもある。それに対してフィードフォワード系は系の応答性のみ関係しており不適切なゲイン配分にて駆動を試みても安全である。評価関数は応答性を反映できるように考慮されていれば良く、(2)式はそのように対応している。

【0044】実施の形態2. この発明による電動機の位置制御装置の実施の形態2を図1、図8、図10を参照して説明する。この実施の形態では図1のゲイン修正回路11の構成要素である図8の判定回路51の図10にて参照される比較回路81が回転角指令信号 $\theta_m^*$ の指令終了を検出して回転角指令信号 $\theta_m^*$ が位置制御装置に与えられたと判定すると判定信号Zを任意の一定時間Tspの間“1”に出力する。比較回路81からの判定信号Zと信号Z1、Z2は同一値を取る。このときの評価関数演算部50の計算する評価関数値Jは(3)式のように表される。(3)式においてteは指令終了時間を示す。

【0045】

【数3】

$$J = \int_{T_e}^{T_e+T_{sp}} q_1(\omega_1 - \omega_2)^2 + q_2(\theta_m^* - \theta_2)^2 dt \quad \dots (3)$$

【0046】このように評価関数演算部50の演算開始時間を回転角指令信号 $\theta_m^*$ の指令終了後からにすることで指令終了後の過渡応答の挙動のみを評価関数に反映させることができ、評価関数の精度が向上するので微細なチューニングが可能となる。

【0047】実施の形態3. この発明による電動機の位置制御装置の実施の形態3を図1、図8、図13を参照して説明する。この実施の形態では図1のゲイン修正回路11の構成要素である図8の判定回路51の図13にて参照される比較回路91が回転角指令信号 $\theta_m^*$ と実位置信号 $\theta_2$ との位置偏差信号e $\theta$ が任意の設定値以下に達したと判定すると判定信号Zを任意の一定時間Tspの間“1”に出力する。比較回路91からの判定信号Zと信号Z1、Z2は同一値を取る。このときの評価関数演算部50の計算する評価関数値Jは(4)式のように表される。(4)式においてtsは位置偏差信号e $\theta$ の設定しきい値以下への到達時間を示す。

【0048】

【数4】

$$J = \int_{T_s}^{T_s+T_{sp}} q_1(\omega_1 - \omega_2)^2 + q_2(\theta_m^* - \theta_2)^2 dt \quad \dots (4)$$

【0049】このように評価関数演算部50の演算開始時間を位置偏差信号e $\theta$ が任意の設定値以下に達してからにすることで位置決め終了の止まりの際の微細な過渡応答の挙動を反映させることができる。但し、比較回路91に設定する位置偏差信号e $\theta$ のしきい値を小さくし

すぎると速度偏差信号 ( $\omega 1 - \omega 2$ ) がほぼ零になるの  
で、整定時間の調整より微少なオーバーシュートの調整  
に効果的である。

【0050】実施の形態 4. この発明による電動機の位  
置制御装置の実施の形態 4 を図 1、図 8、図 14 を参照  
して説明する。この実施の形態では図 1 のゲイン修正回  
路 11 の構成要素である図 8 の判定回路 51 の図 14 に  
て参照される第 1 の比較回路 101 が回転角指令信号  $\theta m^*$   
の指令終了を検出して回転角指令信号  $\theta m^*$  が終了  
した判定すると判定信号 Z1 を任意の一定時間  $Tsp$  の  
間 “1” に出力する。第 2 の比較回路 102 は回転角指  
令信号  $\theta m^*$  と実位置信号  $\theta 2$  との位置偏差信号  $e \theta$  が  
任意の設定値以下に達したと判定すると判定信号 Z2 を  
任意の一定時間  $Tsp$  の間 “1” に出力する。このとき  
の評価関数演算部 50 の計算する評価関数値 J は (5)  
式のように表される。(5) 式において  $t_e$  は指令終了  
時間を、 $t_s$  は位置偏差信号  $e \theta$  の設定しきい値以下へ  
の到達時間を示す。

【0051】

【数 5】

$$J = \int_{t_e}^{T_e + T_{sp}} q_1 (\omega_1 - \omega_2)^2 + \int_{T_s}^{T_s + T_{sp}} q_2 (\theta_m^* - \theta_2)^2 dt \quad \dots (5)$$

【0052】実施の形態 3 では評価関数演算部 50 の速  
度偏差に関わる演算部の演算開始時間を位置偏差信号  $e$   
 $\theta$  が任意の設定値以下に到達後とするため、しきい値以  
下に達したときの速度偏差値が総じて小さくなる。位置  
制御装置の位置・速度制御部がデジタル処理している場  
合には速度偏差信号の量子化誤差の影響で誤差分が積算  
され評価関数演算部 50 の演算精度が悪化する。 \*

$$J = \int_{T_w}^{T_w + T_{sp}} q_1 (\omega_1 - \omega_2)^2 + \int_{T_s}^{T_s + T_{sp}} q_2 (\theta_m^* - \theta_2)^2 dt \quad \dots (6)$$

【0056】このように評価関数演算部 50 の速度偏差  
に関わる演算部の演算開始時間を  $\omega 1$  がしきい値以下に  
到達後とし、位置偏差に関わる演算部の演算開始時間を  
位置偏差信号  $e \theta$  が任意の設定値以下に達してからにす  
ることで、位置偏差信号の止まりの際の微細な過渡応答  
の挙動を反映させ、かつ、速度応答の微細な過渡応答の  
挙動を正確に捉えられるようしきい値を設定できるので  
位置決め付近の過渡応答の挙動を精度よく評価関数に反  
映させることができ、さらに微細なチューニングが可能  
となる。

【0057】

【発明の効果】以上の説明より理解されるように、この  
発明による電動機の位置制御装置によれば、ゲイン修正  
手段が外部から与えられる自動調整指令を受けると自動  
調整指令入力後から一定の時間において予め作成してあ  
る数種類のゲインパターンに順次切り換え、位置指令信  
号と第 2 の位置信号の偏差信号と第 1 の模擬速度信号と  
第 2 の速度信号の偏差信号に基づいて評価関数を計算  
し、自動調整指令入力後から一定の時間後に前記評価関

\* 【0053】そこで、実施の形態 4 では評価関数演算部  
50 の速度偏差に関わる演算部の演算開始時間を回転角  
指令信号  $\theta m^*$  の指令終了後とし、位置偏差に関わる演  
算部の演算開始時間を位置偏差信号  $e \theta$  が任意の設定値  
以下に到達後とすることで位置偏差信号の止まりの際の  
微細な過渡応答の挙動を反映させ、かつ、回転角指令信  
号  $\theta m^*$  の指令終了後では速度偏差信号がある程度の値  
を持つために評価関数演算部 50 の演算精度が悪化しな  
い。よって位置決め付近の過渡応答の挙動を精度よく評  
価関数に反映させることができ、より微細なチューニン  
グが可能となる。

【0054】実施の形態 5. この発明による電動機の位  
置制御装置の実施の形態 4 を図 1、図 8、図 15 を参照  
して説明する。この実施の形態では図 1 のゲイン修正回  
路 11 の構成要素である図 8 の判定回路 51 の図 15 に  
て参照される第 1 の比較回路 111 において模擬速度信  
号  $\omega 1$  が任意の設定値以下に達したと判定すると判定信  
号 Z1 を任意の一定時間  $Tsp$  の間 “1” に出力する。  
第 2 の比較回路 112 は回転角指令信号  $\theta m^*$  と実位置  
信号  $\theta 2$  との位置偏差信号  $e \theta$  が任意の設定値以下に達  
したと判定すると判定信号 Z2 を任意の一定時間  $Tsp$   
の間 “1” に出力する。このときの評価関数演算部 50  
の計算する評価関数値 J は (6) 式のように表される。

(6) 式において、 $t_w$  は模擬速度信号  $\omega 1$  の設定しき  
い値以下への到達時間を、 $t_s$  は位置偏差信号  $e \theta$  の設  
定しきい値以下への到達時間をそれぞれ示す。

【0055】

【数 6】

数の値に基づいて最適なゲインパターンを選択し、第 1  
の位置制御回路のゲインと第 1 の速度制御回路のゲイン  
を切り換えるので、負荷機械に適した微調整チューニン  
グを実現することができる。

【0058】つぎの発明による電動機の位置制御装置に  
よれば、ゲイン修正手段は位置指令信号が終了してから  
の前記位置指令信号と前記第 2 の位置信号の偏差信号と  
第 1 の模擬速度信号と第 2 の速度信号の偏差信号とに基  
づいて第 1 の位置制御回路のゲインと第 1 の速度制御回  
路のゲインを切り換えるゲイン修正手段を備えているの  
で、回転角指令信号  $\theta m^*$  の指令終了後の過渡応答の挙  
動のみを評価関数に反映させることができ、評価関数の  
精度があがるので位置整定の止まりの際の過渡応答のチ  
ューニングが可能となる。

【0059】つぎの発明による電動機の位置制御装置に  
よれば、ゲイン修正手段は外部から与えられる位置指令  
信号と第 2 の位置信号の偏差がゲイン修正手段の第 1 の  
計算開始設定値以下に達してから前記位置指令信号と  
前記第 2 の位置信号の偏差信号と第 1 の模擬速度信号と



第2の速度信号の偏差信号とに基づいて第1の位置制御回路のゲインと第1の速度制御回路のゲインを切り換えるゲイン修正手段を備えているので、第1の計算開始設定値を小さくし評価関数の計算開始時間を微小位置偏差領域から始めることで位置整定の止まりの際の過渡応答を精度良く反映させることができるので位置決めの際の微小なオーバーシュートの調整をオートチューニングしたいときに効果的である。

【0060】つぎの発明による電動機の位置制御装置によれば、ゲイン修正手段は外部から与えられる位置指令信号と第2の位置信号の偏差がゲイン修正手段の第1の計算開始設定値以下に達してからの位置指令信号と第2の位置信号の偏差信号と、位置指令信号が終了してからの第1の模擬速度信号と第2の速度信号の偏差信号とに基づいて第1の位置制御回路のゲインと第1の速度制御回路のゲインを切り換えるゲイン修正手段を備えているので、指令終了後の整定時間に影響を及ぼす領域の速度偏差信号を評価関数へ反映させ、かつ、第1の計算開始設定値を小さくし評価関数の計算開始時間を微小位置偏差領域から始めることで位置整定の止まりの際の過渡応答を精度良く反映させることができるので、止まりの際のオーバーシュートと整定時間の両方の調整をオートチューニングしたいときに効果的である。

【0061】つぎの発明による電動機の位置制御装置によれば、ゲイン修正手段は外部から与えられる位置指令信号と第2の位置信号の偏差がゲイン修正手段の第1の計算開始設定値以下に達してからの位置指令信号と第2の位置信号の偏差信号と、第1の模擬速度信号がゲイン修正手段の第2の計算開始設定値以下に達してからの第1の模擬速度信号と第2の速度信号の偏差信号とに基づいて第1の位置制御回路のゲインと第1の速度制御回路のゲインを切り換えるゲイン修正手段を備えているので、第2の計算開始設定値を小さくし評価関数の計算開始時間を微小速度偏差から始めることができ、かつ、第1の計算開始設定値を小さくし評価関数の計算開始時間を微小位置偏差から始めることで位置整定の止まりの際の過渡応答を精度良く反映させることができるので、オーバーシュートと整定時間の両方の調整で、かつ、非常に精度が求められる場合においてオートチューニングしたいときに効果的である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明による電動機の位置制御装置に係る実施の形態の全体構成を示すブロック図である。

【図2】 図1に示した第1の位置制御回路の概略構成を示すブロック図である。

【図3】 図1に示した第1の速度制御回路の概略構成を示すブロック図である。

【図4】 図1に示した第2の位置制御回路の概略構成

を示すブロック図である。

【図5】 図1に示した第2の速度制御回路の概略構成を示すブロック図である。

【図6】 図1に示した電動機模擬回路の概略構成を示すブロック図である。

【図7】 図1に示したトルク制御回路の概略構成を示すブロック図である。

【図8】 図1に示したゲイン修正回路の概略構成を示すブロック図である。

【図9】 図8に示した評価関数演算部の概略構成を示すブロック図である。

【図10】 図8に示した判定回路の概略構成を示すブロック図である。

【図11】 図1に示したゲイン修正回路の動作を示すフローチャートである。

【図12】 9通りのゲインパターンをゲインパターンバッファにセットし、各位置決め応答時の評価関数をプロットした図である。

【図13】 他の実施の形態に係る判定回路の概略構成を示すブロック図である。

【図14】 他の実施の形態に係る判定回路の概略構成を示すブロック図である。

【図15】 他の実施の形態に係る判定回路の概略構成を示すブロック図である。

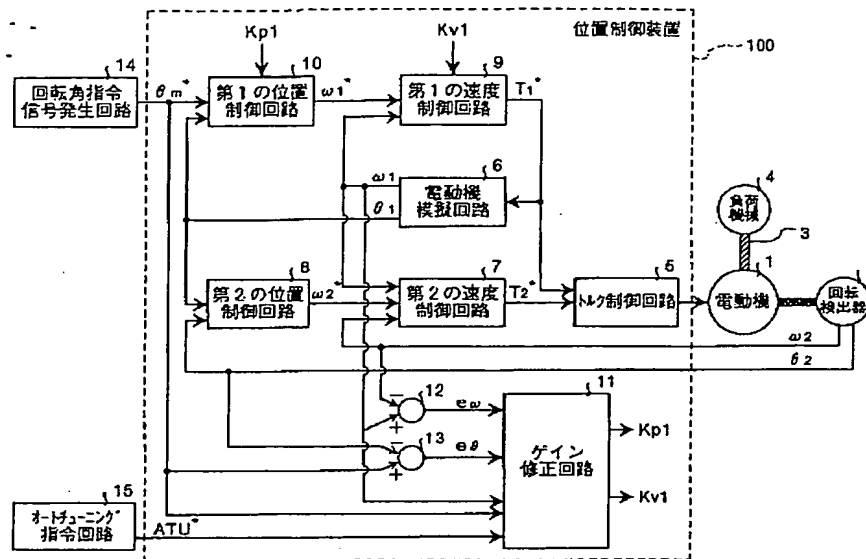
【図16】 従来における電動機の位置制御装置の概略構成を示すブロック図である。

【図17】 従来における電動機の位置制御装置の概略構成を示すブロック図である。

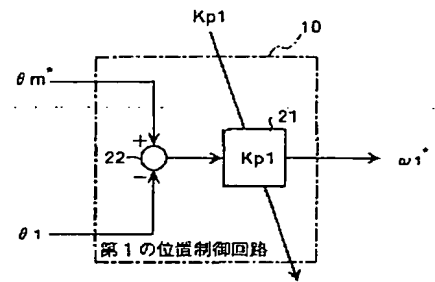
#### 【符号の説明】

- 1 電動機、2 回転検出器、3 トルク伝達機構、4 負荷機械、5 トルク制御回路、6 電動機模擬回路、7 第2の速度制御回路、8 第2の位置制御回路、9 第1の速度制御回路、10 第1の位置制御回路、11 ゲイン修正回路、12 減算器、13 減算器、14 回転角指令信号発生回路、15 オートチューニング指令回路、21 係数器、22 減算器、23 係数器、24 減算器、25 係数器、26 減算器、27 係数器、28 積分器、29 係数器、30 減算器、31、32 加算器、33、34 積分器、35 係数器、36 電流制御回路、37 電流検出器、38 加算器、50 評価関数演算部、51 判定回路、53 カウンタ、54、55 バッファ、56 ゲイン切換部、57 最小値検出器、58、59 セレクタ、60 スイッチ、71、72 積分器、73、74 零出力器、75 加算器、76、77 スイッチ、78、79 自乗器、81 比較回路、91 比較回路、101、102 比較回路、111、112 比較回路。

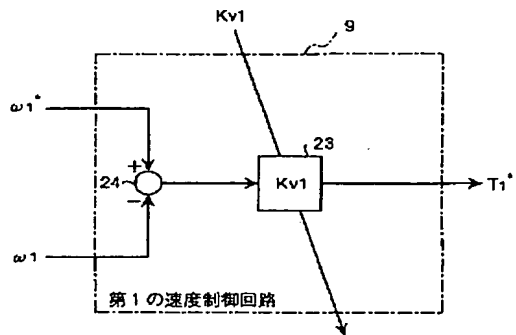
【図 1】



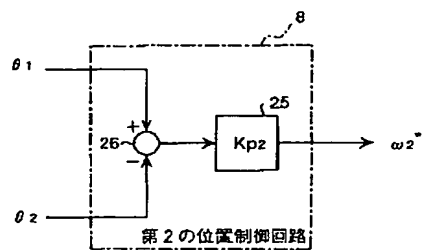
【図 2】



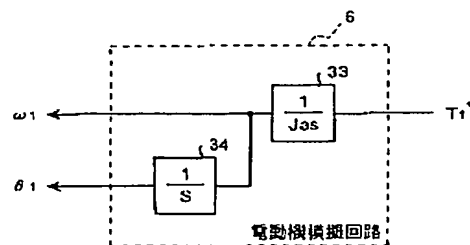
【図 3】



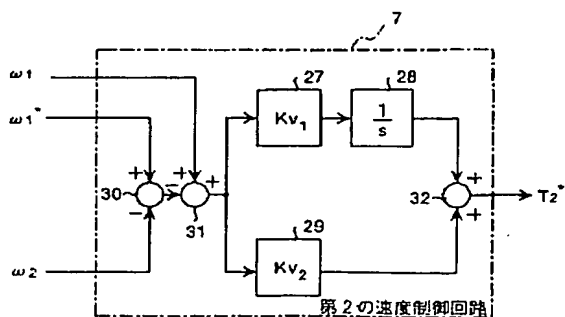
【図 4】



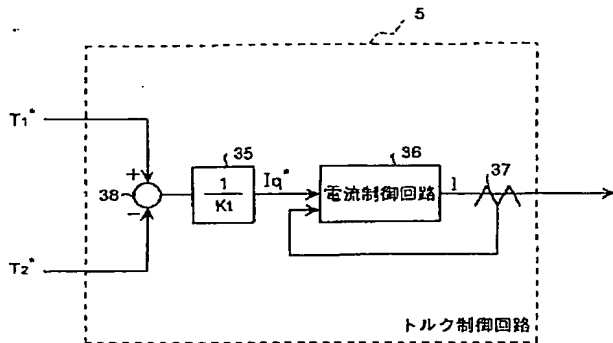
【図 6】



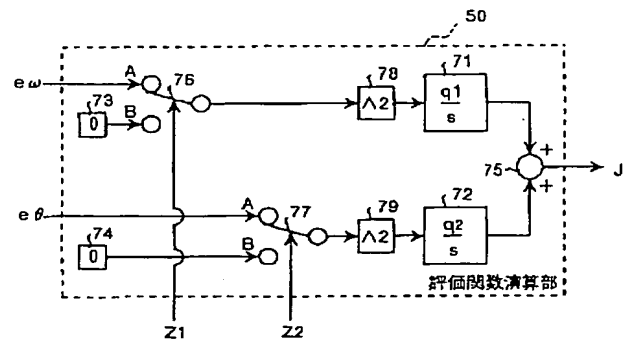
【図 5】



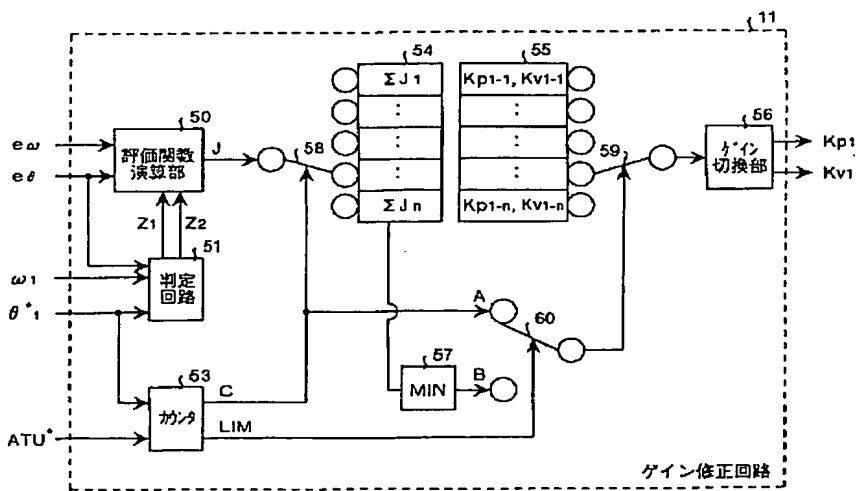
【図 7】



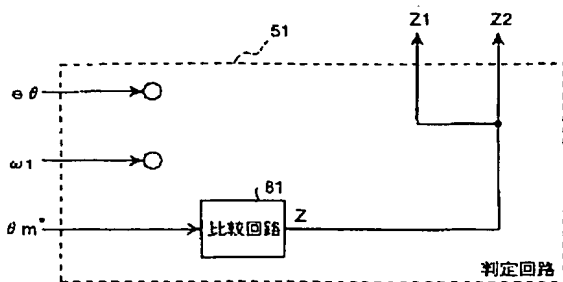
【図 9】



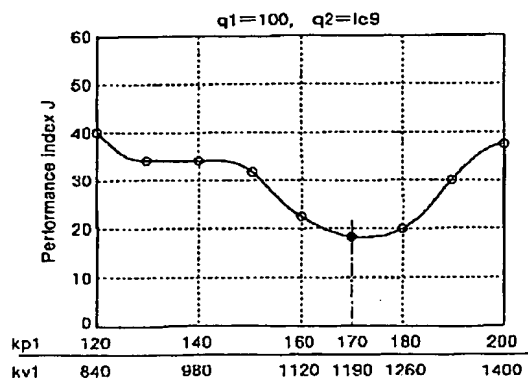
【図 8】



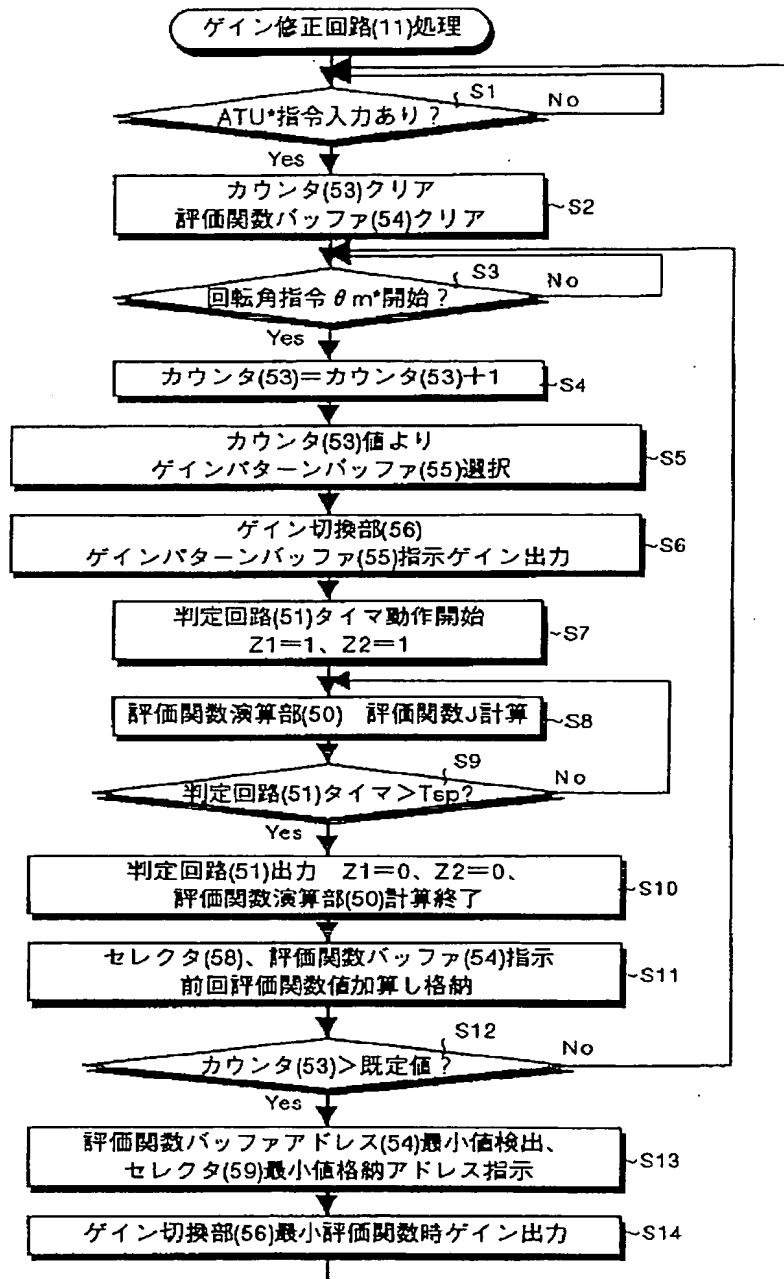
【図 10】



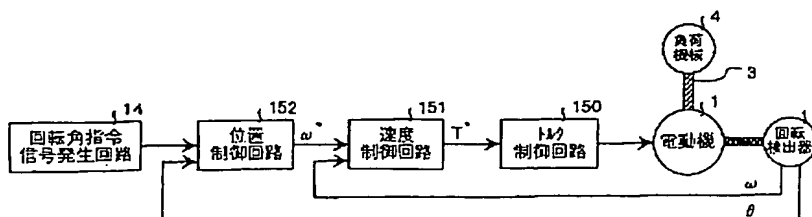
【図 12】



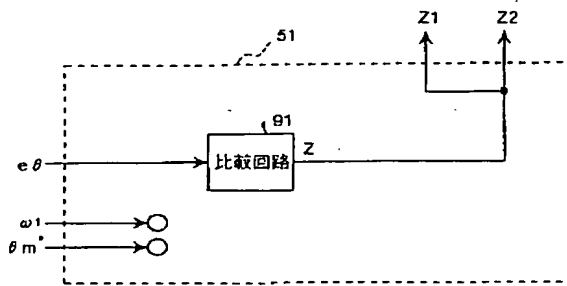
【図 1 1】



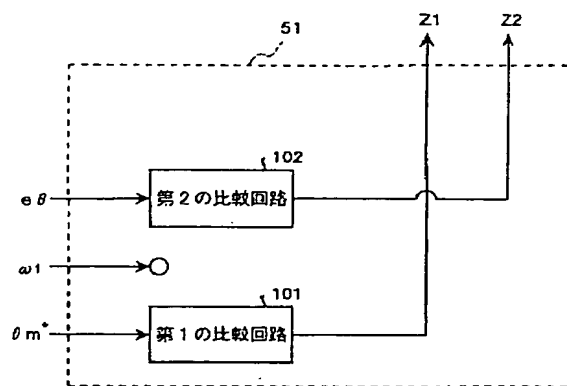
【図 1 6】



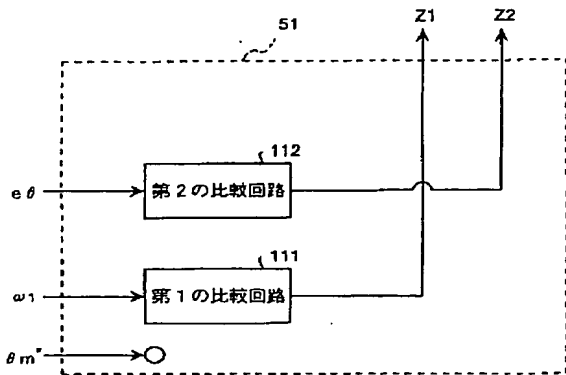
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 7】

